

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平3-161290

⑪ Int. Cl.⁸
B 25 J 5/00

識別記号 庁内整理番号
E 8611-3F
C 8611-3F

⑬ 公開 平成3年(1991)7月11日

審査請求 未請求 請求項の数 9 (全11頁)

⑭ 発明の名称 脚式歩行ロボットの関節制御装置

⑮ 特 願 平1-297199

⑯ 出 願 平1(1989)11月15日

⑰ 発 明 者 吉 野 龍 太 郎 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

⑱ 発 明 者 山 本 雅 裕 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

⑲ 発 明 者 小 澤 信 明 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

⑳ 発 明 者 西 川 正 雄 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

㉑ 出 願 人 本田技研工業株式会社 東京都港区南青山2丁目1番1号

㉒ 代 理 人 弁理士 吉 田 豊

明細書

1. 発明の名称

脚式歩行ロボットの関節制御装置

2. 特許請求の範囲

(1) ロボットの関節を目標位置に追従制御するサーボ機構を備え、該ロボットに作用する外力に応じてその操作量を変えて微い動作させる関節制御装置において、前記関節は先端に足底部を備えた脚式歩行ロボットの足関節を含む関節であり、該足底部に作用する外力を検出して該外力が減少する様に制御装置のゲインを調整し、該足底部を路面に倣わせつつ着地させる様に構成したことを特徴とする脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(2) 前記足底部に着地時に作用するモーメントに応じて制御装置の比例ゲインを調整する様にしたことを特徴とする請求項1項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(3) 前記足底部に着地時に作用するモーメントに応じて制御装置の比例ゲインと積分ゲインとを調整する様にしたことを特徴とする請求項1項記載

の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(4) 該制御の操作量が前記関節の回転角度であることを特徴とする請求項2項又は3項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(5) 該制御の操作量が前記関節の回転速度であることを特徴とする請求項2項又は3項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(6) 該制御の操作量が前記関節の駆動トルクであることを特徴とする請求項2項又は3項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(7) 前記関節を駆動するアクチュエータの発生トルクが前記モーメントの所定の変化方向に対応した値であることを特徴とする請求項2項乃至6項のいずれかに記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(8) 前記関節を駆動するアクチュエータの発生トルクが所定の率で減衰することを特徴とする請求項2項乃至7項のいずれかに記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

(9) 前記アクチュエータが動力伝達手段を介して

前記関節の回転軸に連結されてなると共に、前記減衰率が前記動力伝達手段の摩擦抵抗を含む値に基づいて決定されることを特徴とする請求項8項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は脚式歩行ロボットの関節制御装置に関し、より具体的には2足歩行の移動ロボットにおいて着地時にコンプライアンス制御を加えてその関節駆動を制御し、路面の凹凸に良く馴染むと共に、着地時の衝撃も吸収する様にした脚式歩行ロボットの関節制御装置に関する。

(従来の技術及び発明が解決しようとする課題)

より広範な移動環境を制御するものに脚式の移動機械があり、その中で、狭い作業環境でも自由に行動出来る可能性のあるものに2足歩行式の移動機械(以下「2足歩行ロボット」と呼ぶ)が考えられる。

斯る2足歩行ロボットを含めた複数の脚部を持つ移動ロボットについて姿勢制御を考えると、

フィードバックに切り換えることを提案するに止まり、力フィードバック制御の内容等については触れるものではなかった。更に強い制御について具体的に開示する例としては論文、「ロボットアームの力フィードバック制御」(計測と制御、Vol. 25, No. 1、昭和61年1月)を挙げることが出来る。この従来技術にあつては6自由度のロボットハンドについて仮想のコンプライアンス機構を設定して該ロボットハンドに作用する外力(力・モーメント)を検出し、それに応じてハンドの作動速度を設定し、サーボモータを速度制御してハンドが実際にその速度をとる様に制御することにより、ロボットがあたかも実際のコンプライアンス機構によって強い動作するのと同様の効果を得ることが出来る仮想のコンプライアンス制御を提案している。

本発明の目的は上記した仮想のコンプライアンス制御の考えを脚式歩行ロボットの着地制御に応用したものであり、着地時に関節駆動を制御することによって凹凸路面であっても適正に做わせ

2足歩行ロボットは4足ロボットに比べて不安定なので、着地時の衝撃を緩和するために足部とそれを駆動する足関節の駆動モータとを適切に制御して路面に足底部を做わせることが、衝撃が少なく安定した歩行を実現する上で望ましい。衝撃の緩和には制御技術で対処する以外に足底部に衝撃緩衝材を物理的に設けることも考えられるが、あらゆる路面を対象とするときには制御によって緩衝動作を行わない限り足が路面と衝突する様な状態となって、その反動で足が跳ね返される等により、安定性の確保が難しい。特に、2足歩行ロボットでは重心が高く、かつ足底部の接地面積が小さいので、着地時の安定性を確保することは極めて重要である。

その点から先に特開昭62-97005号公報において、2足歩行ロボットの関節制御手法が提案されている。しかしながら、この従来技術は、作業環境に応じて制御モードを切り換えることを主眼としており、即ち遊脚期と立脚期とを接地の有無から判別して位置フィードバックからカフ

て衝撃の少ない柔軟な着地を可能とする脚式歩行ロボットの関節制御装置を提供することにある。但し、上記従来技術においてはロボットアームを対象としている。ロボットアームの場合にはアーム本体が重量無限大のベースに取り付けてあるため、コンプライアンス制御を行う関節アクチュエータの負荷はハンドのみにかかり、ハンドは物体に作用したとき発振が生じ難い。一方、歩行ロボットの場合にはコンプライアンス制御を上体の運動に対して行うことになるが、足部が路面に固定されていないため、足関節アクチュエータの負荷が軽量の足底部にかかる場合があり、発振が非常に起こり易い。

従って本発明の第2の目的は、上記仮想コンプライアンス制御において、発振を生じさせることなく柔軟な着地動作を可能とする脚式歩行ロボットの関節制御装置を提供することにある。

更には、着地動作は極めて短時間に終了するので、この間に足の強い動作を完結させるにはサーボモータの特性を歩行条件に応じて最適に設定

する必要がある。

従って、本発明の第3の目的は、歩行条件に応じて適宜選択されるべき種々の制御特性を備えた脚式歩行ロボットの関節制御装置を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

例えば請求項1項に記載する如く、ロボットの関節を目標位置に従従制御するサーボ機構を備え、該ロボットに作用する外力に応じてその操作量を変えて適切な動作させる関節制御装置において、前記関節は先端に足底部を備えた脚式歩行ロボットの足関節を含む関節であり、該足底部に作用する外力を検出して該外力が減少する様に制御装置のゲインを調整し、該足底部を路面に倣わせつつ着地させる様に構成した。

(作用)

第1図の制御ブロック図に示す如く、着地時に足底部に作用する外力を検出し、それを減少する様に構成したことから、路面反力を効果的に吸収することが出来、路面に凹凸があっても柔軟に

着地させることが出来て衝撃の少ない安定した着地を達成することが出来る。

(実施例)

以下、添付図面を参照して本発明の実施例を説明する。第2図を参照して本発明に係る歩行ロボット1の全体を概略的に説明すると、この歩行ロボット1は図から明らかな様に、その形態は人のそれに近く、下方から説明すると、足部10、下腿部12、大腿部14及び胴体部16を備え、各部はそれぞれ足関節18、膝関節20及び股関節22で互いに結合される。各関節には直流型の電動モータ24、26、28、30、32、34が配置される。尚、この歩行ロボット1は、足部も含めて各部材とも左右対称であるので、以下の説明では一方についてのみ行う。

第3図は足部10の断面図(矢状面、この場合は直進方向に平行な面で切断)であり、第4図はその一部破断正面図である。第4図において足関節18にあっては、ベルト36が下腿部12に取着された第1の電動モータ24(図示の便宜の

ため第2図においては足首位置に示したが、実際は下腿部12の適宜位置に取着される)の出力を受けてハーモニック減速機38(商品名)の入力端に輸入する。該減速機において、モータ出力は周知の如く適宜な倍率で減速して増力され、下腿部12に取着される固定部40とその下部の回転部42とを軸線44を中心として歩行進行方向に相対回転させる。該軸線44と直交する位置には第3図に良く示す如く、第2の前記した電動モータ26が配置され、その出力は第2のハーモニック減速機46に輸入され、前記固定部40と回転部42とを第2の軸線48を中心として進行方向(ピッチ方向)に直交する左右方向(ロール方向)に相対回転させる。

回転部44の下方には公知の6軸力センサ50が取着され、力の3方向成分 F_x 、 F_y 、 F_z とモーメントの3方向成分 M_x 、 M_y 、 M_z とを分離して測定し、足部の着地の有無乃至は接地荷重等を検出する。6軸力センサ50の下部には船型のフレーム52が固定される。フレーム52はアルミ材

等の軽量かつ剛性に優れた素材から構成され、その下面は足底部(いわゆる足の裏)54を形成する。足底部54において爪先端58と踵部60は適宜な曲率で湾曲せしめられて接地時の転動を容易にすると共に、そこには着地時の衝撃を吸収させ、また路面の凹凸に馴染ませるために均一な厚みを備えたゴム材等からなる弾性体64、66が接着等の適宜な手段で貼付される。尚、膝関節20を含む他の関節も大略同様の構造を備えるので、説明は省略する。

次に制御装置部に関して説明すると、前記した胴体部16にはエネルギー源が収納されて電動モータ24等へ供給すると共に、そこにはマイクロコンピュータを備えた制御ユニット70が収納されて、歩行動作を制御する。即ち、6軸力センサ50の出力は信号線72を経て該制御ユニット70に送られると共に、各電動モータにはその回転角度を検出するロータリエンコーダ74、76(図示の簡略化のため第2図には足関節のものだけを示す)が配置され、検出値を制御ユニット7

0に送出する。第5図はその制御ユニットの構成を詳細に示す説明ブロック図であるが、6軸力センサ50の出力は増幅器78及びA/D変換回路80を経てマイクロ・コンピュータに入力され、CPU82はタイマ84の計数値に応じて所定時間毎に入力値をRAM86に格納する。またロータリエンコード74等の出力パルスもカウンタ88を介してRAM86に格納される。後で詳細に述べる如く、CPU82は検出パラメータに応じてROM90に予め格納された関節の角度目標値 θ_{it} を検索し、検出された実際角度との偏差から角度指令値 θ_{COMH} を求め、それに基づいてモータの速度指令値 V_c を演算してデジタル値で出力する。その出力はD/A変換回路92でアナログ値に変換されてサーボドライバ94に送出され、サーボドライバ94において電流値に変換されて各関節の電動モータ24等へ供給される。またロータリエンコード出力値はF/V変換回路96を介してサーボドライバ94にフィードバックされ、サーボ系を構成している。

実行し終えるまでにS22において前記した6軸力センサ50の出力から遊脚の接地が検出されるが、それまで実行され続ける。而して、S22で遊脚（左足）の接地が確認されるとS24に進み、遊脚（左足）のコンプライアンス制御相に入る。

第7図はそのコンプライアンス制御を示すサブルーチン・フロー・チャートである。以下説明すると、先ずS100において6軸力センサ50の出力値を読み出して足首に作用しているx軸回り（進行方向に直角かつ水平な軸回り）のモーメントを検出する。尚、足関節には既述の如く、足を進行方向（ピッチ方向）に振る自由度と左右方向（ロール方向）に振る自由度とが設けられ、それぞれの自由度に対応して電動モータ24、26が個別に設けられる。従って、着地時に本質的にはこれら2方向の動作を制御する必要があるが、以下の説明では理解の便宜のため進行方向の微い動作のみ説明する。左右方向についても全く同様である。

第6図はその動作を示すフロー・チャートである。同図に即して説明すると、先ずS10において各部をインシャライズした後、S12で6軸力センサ50等の出力を入力し、S14で歩行パターンを計算する。即ち、ROM90を参照して左右脚部の12個の関節について前記した角度目標値 θ_{it} を検索する。ここで値 θ_{it} はi番目の関節の時刻iにおける目標角度を意味する。尚、パラメータの入力と歩行パターンの演算は予めオフラインで行っておいてメモリに格納しておいても良い。具体的には検出した実際角度 θ_{act} を読み出して角度目標値 θ_{it} との偏差を求めて角度指令値 θ_{COMH} を算出し、次いで該角度目標値を通宜な手法で変換して電動モータの速度指令値 V_c を算出して出力を開始する。斯くしてS16に示す様に歩行が開始する。即ち、先ずS18で両足支持相に入り、両足支持相の指令値が出力し終わると、次にS20に移って片足支持、例えばこの例では右足支持（左足は遊脚）相に移り、次々と指令値を実行していくことになる。この相の指令値が

続いてS102に至り、仮想的な回転変位 $\Delta\theta$ を算出する。即ち、図示の如き力学モデルを想定し、足底部54の全体が足関節18を中心にバネ定数 K_{COMP} を持ったツル巻バネで吊られているものとし、モーメント M_x の大きさに比例した回転変位 $\Delta\theta$ を行うと仮想する。比例定数 K_{COMP} は実験を通じて適宜設定するが、この値が結果的に微い動作の応答性を決定する。回転変位 $\Delta\theta$ は、モーメント M_x から逆算して求める。

続いてS104において回転変位 $\Delta\theta$ と前記した角度指令値 θ_{COMH} とを合算して角度指令値 θ_{COMH} を補正する。制御ユニットにおいてCPU82はこの値から新たにモータの速度指令値 V_c を算出し、D/A変換回路92に送出し、変換されたアナログ値はサーボドライバ94を経て電動モータ24に供給される。尚、このとき足関節の他の電動モータ26、乃至は膝関節の電動モータ28等、他のモータについて適宜同様の制御を行っても良い。

続いて、第6図メイン・フロー・チャートに

戻り、S26において時刻T0に達するまで続けられ、その後にはS28に進んで再び両足支持相に入る。コンプライアンス制御を時刻T0で終了するのは、着地が本来衝突的な事象であり、長時間に亘って継続するものではないからである。尚、両足支持相が終了するとS30以下に進んで今度は左足支持（右足遊脚）相に入り、その後はS32～36で同様の制御がなされ、S38に至って再び両足支持相となると、歩行の1周期が終了したことになる。同様の動作がS40で終了と判断されるまで継続される。

本実施例において歩行開始時は所期の角度目標値に基づいて歩行制御されるが、遊脚が接地して足関節にモーメント M_x が作用した時点で、そのモーメントで曲がるであろう仮想の変位角を想定し、それを所期の目標値に加算して新たに指令値を求め、その値に基づいて制御するので、結果的にモーメントを減少させる方向に足部が駆動され、接地時の衝撃を効果的に緩和しつつ路面に倣って着地させることが出来る。

た後、S202に進んで回転変位 $\Delta\theta$ を算出する。即ち、先に述べた比例項にモーメント M_x を時間で積分して新たな比例定数 K_{COMP1} の逆数を乗じた値を加算して算出する。第2の比例定数 K_{COMP1} も適宜設定すると共に、積分単位時間は微小に設定する。次いで、S204で角度指令値を算出し、S206で速度指令値に変換して出力する。

本実施例の場合には積分項を加えたことから、モーメントが作用している時間が長くなるほど積分値が大きくなって第1実施例に比して移動量が大となり、結果的にはより短い時間で倣い動作を終了させることが出来る。即ち、発振を回避すべく第1バネ定数 K_{COMP} を比較的大きく設定しても、ある微小時間経過すると積分項が共に加算されていくので、移動量が増加し、結果的に倣い動作時間を減少させることが出来る。

第9図及び第10図は第1、第2実施例に示す例の制御結果であり、第9図は静特性の、第10図は時間の概念が加わる動特性の結果を示す。

第8図は第6図のコンプライアンス制御の別の例を示す本発明の第2実施例である。第1実施例に使用したバネ定数 K_{COMP} は、小さく設定すると、発生しているモーメントに対して回転変位の値が大きくなって補正量が大きくなり、馴染み易くなる。それに対してバネ定数を大きく設定すると、馴染むのに時間がかかる。従って、歩行の速度を速める必要があるときは着地動作時間も短縮することからバネ定数 K_{COMP} を小さく設定することになるが、その結果ループのゲインが大きくなって系が発振することがある。逆に発振を避けてバネ定数 K_{COMP} を大きく設定すると、時間内に倣い動作が終了せず、路面反力が残る。本実施例はその相矛盾する問題を解決するものであり、その要旨とするところは積分項を追加することにより、ループゲインを上げることなく足底部の倣い動作の応答性を向上させたものである。

第8図は第2実施例を示す第6図のサブルーチン・フロー・チャートであり、S200において第1実施例と同様にモーメント M_x を読み出し

第9図(a)からバネ定数が減少するにつれて変位角が増加すること、及び(b)の比例積分制御からゲインが略無限大となっているのが見てとれる。また第10図(a)から第1実施例の場合にはある時刻でモーメントと変位角とが釣り合ってしまうとオフセットが残るが、同図(b)の第2実施例からモーメントが零に収束するのを理解することが出来る。

次に、更に歩行速度が上がって第2実施例での微小な時間でも許容し得なくなった場合を考える。このときには倣い動作が不十分のまま次の動作に移行することとなり、路面の凹凸が甚だしい場合には歩行の安定性を確保し難い場合も生じ得る。以下に述べる第3の実施例は斯る点に対処するために案出されたものであり、その要旨とするところは発振現象を抑制するのにコンプライアンスを行う方向（即ちモーメント M_x の増加乃至減少方向）を限定して足部が路面に着地する方向には柔らかく、逆の方向には固くなる様に制御する点であり、更にはコンプライアンス制御の操作量

を最初からモータの速度指令値として得る点であり、よって万一、モーメントが急激に減少して微い動作が遅くなる場合でも、あるいはモーメントの増減によって系に共振が生じ易くなった場合においても短時間のうちに微い動作を終了することが出来る如くするものである。即ち、その様な条件下においても前記したバネ定数 K_{COMP} を着地時の衝撃吸収に達した値に設定自在とするものであるが、このバネ定数 K_{COMP} はこれまでの説明から明らかな如くサーボゲインである。以下の第3実施例ではこのサーボゲインを使用して論理構成しているが、説明の混乱を避けるために、以下のサーボゲインでは大文字の K の代わりに小文字の k を用いる。

第11図はその第3実施例を示すコンプライアンス制御のサブルーチン・フロー・チャートである。

先ず $S300$ において先の実施例群と同様に足底部に作用するモーメントを読み出し、次いで $S302$ 以下でモーメントの方向と量とを修正す

る。即ち、先ず $S302$ で検出したモーメントが所定値 MTH (例えば "0" 等と適宜設定) と比較し、検出値が所定値より小さいと判断されるときは $S304$ に進んで修正モーメント (ここで M_c と称する) を零に設定する。而して、 $S302$ において検出値が所定値より大きい、即ち正方向にあると判断されるときは $S306$ に進み、そこで第2の所定値 $M0\alpha$ と比較する。この第2所定値は1サイクル前に用いた修正モーメント M_c を α 倍、例えば0.9倍した値である。 $S306$ において検出値が第2所定値より大きいと判断されるときは $S308$ において検出値をそのまま修正モーメントとすると共に、小さいと判断されるときは $S310$ において第2所定値を修正モーメントとする。即ち、 $S302 \sim 310$ を経ることにより、モーメントを正方向に変化するものに限定することが出来、更に正方向のものであっても急激に減少しているときはその減衰率を制限することが出来る。

次いで $S312$ において修正モーメント M_c

に適宜設定する比例ゲイン k_{p1} を乗じてモータ速度指令値 V_{c1} (力制御成分) を算出する。次いで $S314$ において次回の演算のために演算値をストアする。次いで、 $S316$ において関節の実際角度 θ_{act} と目標 θ_{it} との偏差に適宜設定する第2の比例ゲイン k_{p2} を乗じて第2のモータ速度指令値 V_{c2} (位置制御成分) を算出し、 $S318$ において2つの速度値を合成して出力する。上記において比例ゲインは例えば

接地後... $k_{p1} : k_{p2} = 10 : 16$

接地前... $k_{p1} : k_{p2} = 0 : 512$

等と設定する。これは、遊脚期にはモーメントが零であるから $k_{p1} = 0$ は当然であり、またコンプライアンス制御は不要であるので、足部が目標の軌道を正確に通るためにはゲインが高い方が良いからである。

本実施例の場合、 $S302$ で検出されたモーメントが第1所定値 (零) より小さいと判断されるときは力制御成分の速度指令値 V_{c1} は零となるので、結果的にモーメントが正方向にあるときに

のみコンプライアンス制御を行う様にすることが出来る。また $S306$ でモーメントが急激に減少したと判断されるときは前回のモーメントより僅かに低い値に設定するので、モーメントが振動的な場合でもモータを発振させることなく、所要の柔らかさをもって着地させることが出来る。更に、モータの速度指令値を操作量とするので、第1及び第2実施例の如くモータの角度指令値を操作量とするのに比して、制御速度を上げることが出来、よって高速歩行時にも追従性良く微い動作を行なわせることが出来る。

次に、本発明の第4実施例を説明する。歩行ロボットの足関節をコンプライアンス制御することは本質的にそのトルク (モーメント) を検出して制御することであり、今まで述べた実施例では角度乃至はモータの速度指令値を操作量とするため、トルクに変換するのに多少とも時間が必要となる。前述の様に、あらゆる歩行速度の中で、衝突に等しい短時間のうちに制御を確実に終了させるためには、制御の応答性を更に向上させる必要

がある。第4実施例はそれの解消を意図するものであり、その意図するところはトルクに直接比例するモータの電流値を直接出力して応答性を高めた点にある。

第12図を参照して説明すると、先ずS400においてモーメントを読み出した後、S402において検出したモーメントに適宜設定する比例定数Cを乗じて電流目標値 I_{re} を算出する。この比例定数は適宜設定するが、後述する様に設定値が大きいと動作が柔らかくなる特性を備える。次いで、S404以下において第13図に示す関係から電流指令値を算出する。本実施例においては第13図に示す如く、前記した電流目標値が指令値に対して線型に設定されると共に、電流指令値の上限は正方向において I_{L+} 以下に抑制されており、負方向においても I_{L-} に制限されている。結果的に第3実施例と同様にコンプライアンス制御を行う範囲を略モーメントが正方向にあるときに限定している。即ち、着地時のコンプライアンス制御においては検出したモーメントが作用する

方向に電動モータを積極的に駆動して結果的にモーメントが となる様にするものであるが、モータと関節軸との間には前記した様にハーモニック減速機38、46等が介挿されており、そのフリクション、乃至はモータ自身のフリクション、或いはその他の粘性抵抗等の抵抗が存在するので、上記した電流指令値はそれらに抗し得る様に設定する。

即ち、先ずS404において電流の目標値を指令値の上限値と比較し、上限値を超えていればS406において上限値に制限する。超えていなければ続いてS408で指令値の下限値と比較し、下限値以上であればS410で目標値を指令値とすると共に、下限値を下回ればS412で下限値に制限する。その後S414に進み、決定された電流指令値を出力する。

第14図は第4実施例の制御ユニットの要部を示しており、従前に示したものと相違するのは電動モータ群の適宜位置に設けられた電流センサ98を介して電流値がサーボアンプ100にフィ

ードバックされている点である。尚、この実施例の場合にはサーボアンプ100にエンコーダの出力パルスをフィードバックさせる必要がないので、F/V変換回路は省かれている。

第4実施例によるときは直ちにモータの通電電流を操作量とすることから、応答性を一段と向上させることが出来る。また着地時にモーメントが作用する方向と同じ方向にモータトルクを発生させ、足関節回りの慣性やフリクション・粘性抵抗等を補正することで目的を実現することが出来る。またその補正量を変えることで、コンプライアンスの柔らかさの程度を変えることが出来る。補正量の変更は上記の比例定数Cを変えるか、電流の上限値を変えることで達成することが出来る。比例定数を大きく設定すると、発生したモーメントに対して多くの電流を流すことになるので、足部はしなやかに着地することになり、同時に応答性も向上する。これに対して上限値を大きくすると、大きなモーメントにまで追従する様になるが、応答性は向上しないので、実際の制御におい

てはこの2つのパラメータを適切に選ぶことで種々の着地特性に広く適応することが可能となる。尚、発振に対しては前記した下限値を零に近い値に設定することでコンプライアンスを行う方向を限定することが出来、それを回避することが出来る。

上記した4つの実施例において第2実施例のみが比例積分制御を開示したが、他の例においても適宜積分制御を追加しても良い。

また2足歩行ロボットを例にとりて説明して来たが、3足以上のものであっても最下位関節軸の駆動モータに路面反力をフィードバックすることで同様に静かに歩行させることが出来る。また最初に説明した如く、進行方向のモーメントのみではなく、左右方向のモーメントについてもその自由度があれば同様に制御することが出来る。

(発明の効果)

請求項1項は、ロボットの関節を目標位置に追従制御するサーボ機構を備え、該ロボットに作用する外力に応じてその操作量を変えて微い動作

させる関節制御装置において、前記関節は先端に足底部を備えた脚式歩行ロボットの足関節を含む関節であり、該足底部に作用する外力を検出して該外力が減少する様に制御装置のゲインを調整し、該足底部を路面に倣わせつつ着地させる様に構成したので、脚式歩行ロボットにおいて路面の凹凸に柔軟に馴染む様に着地させることが出来、着地時の衝撃を効果的に緩和することから、歩行そのものを安定にすることが出来、かつ静かな歩行動作を実現することが出来る。

請求項2項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、前記足底部に着地時に作用するモーメントに応じて制御装置の比例ゲインを調整する様に構成したので、足底部に作用するモーメントの大きさに応じて上記した効果を達成することが出来る。

請求項3項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、前記足底部に着地時に作用するモーメントに応じて制御装置の比例ゲインと積分ゲインとを調整する様に構成したので、足底部の微い動

作の応答性を更に向上させることが出来、歩行速度が上昇したときであっても上記した効果を達成することが出来る。

請求項4項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、該制御の操作量が前記関節の回転角度である様に構成したので、足部の軌道を正確に目標位置におきつつ上記した効果を達成することが出来る。

請求項5項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、該制御の操作量が前記関節の回転速度である様に構成したので、歩行速度が更に上昇したときであっても上記した効果を達成することが出来る。

請求項6項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、該制御の操作量が前記関節の駆動トルクである様に構成したので、歩行速度が一層上昇したときであっても上記した効果を達成することが出来る。

請求項7項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、前記関節を駆動するアクチュエータの

発生トルクが前記モーメントの所定の変化方向に対応した値である様に構成したので、コンプライアンス制御の対象とするモーメントの変化方向を限定することによってコンプライアンスを一層柔軟にすることも出来、発生振を生じることなく上記した効果を達成することが出来る。

請求項8項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、前記関節を駆動するアクチュエータの発生トルクが所定の率で減衰する様に構成したので、請求項7項で記載した効果に加えて発振現象を一層効果的に抑制することが出来る。

請求項9項記載の脚式歩行ロボットの関節制御装置は、前記アクチュエータが動力伝達手段を介して前記関節の回転軸に連結されてなると共に、前記減衰率が前記動力伝達手段の摩擦抵抗を含む値に基づいて決定される様に構成したので、一層効果的に上記した効果を達成することが出来る。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明に係る脚式歩行ロボットの関

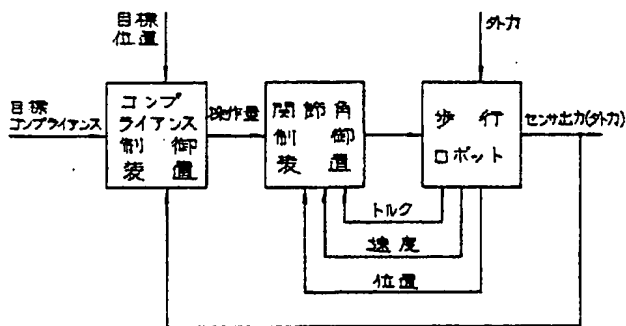
節制御装置を模式的に示すブロック図、第2図は本発明に係る脚式歩行ロボットの全体を概略的に示す説明図、第3図はその足部の矢状面断面図、第4図は第3図に示す足部の一部破断正面図、第5図は第2図に示す脚式歩行ロボットの関節駆動を制御する制御ユニットの詳細を示すブロック図、第6図はその動作を示すメイン・フロー・チャート、第7図はその中のコンプライアンス制御を示すサブルーチン・フロー・チャート、第8図は本発明の第2実施例に係るコンプライアンス制御を示す第6図メインルーチンのサブルーチン・フロー・チャート、第9図(a)(b)は第1、第2実施例の静特性を示す制御結果データ、第10図(a)(b)は同様に動特性を示す制御結果データ、第11図は本発明の第3実施例に係るコンプライアンス制御を示す第6図メインルーチンのサブルーチン・フロー・チャート、第12図は本発明の第4実施例に係るコンプライアンス制御を示す第6図メインルーチンのサブルーチン・フロー・チャート、第13図は該制御で使用する電流

値の特性を説明する特性図及び第14図は第4実施例で用いる制御ユニットの要部ブロック図である。

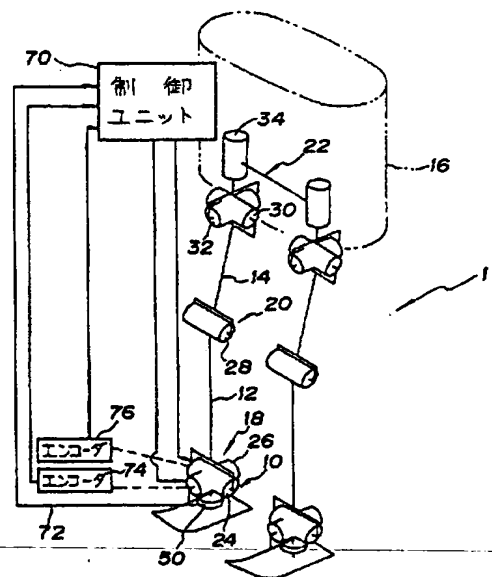
1・・・脚式歩行ロボット、10・・・足部、12・・・下腿部、14・・・大腿部、16・・・胴体部、18・・・足関節、20・・・膝関節、22・・・股関節、24、26、28、30、32、34・・・電動モータ、36・・・ベルト、38、46・・・ハーモニック減速機、40・・・固定部、42・・・回転部、44、48・・・軸線、50・・・6軸力センサ、52・・・フレーム、54・・・足底部、58・・・爪先部、60・・・踵部、64、66・・・弾性体、70・・・制御ユニット、72・・・信号線、74、76・・・ロータリエンコーダ、78・・・増幅器、80・・・A/D変換回路、82・・・CPU、84・・・タイマ、86・・・RAM、88・・・カウンタ、90・・・ROM、92・・・D/A変換回路、94・・・サーボドライバ、96・・・F/V変換回路、98・・・電流センサ、

100・・・サーボアンプ、
出願人 本田技研工業株式会社
代理人 弁理士 吉田 豊

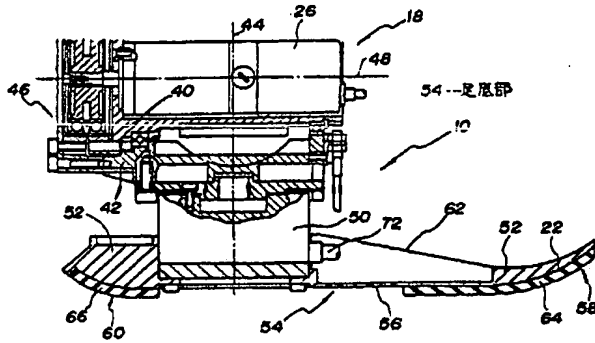
第1図



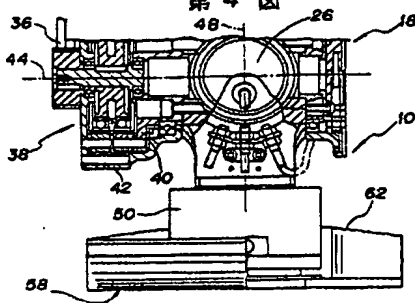
第2図



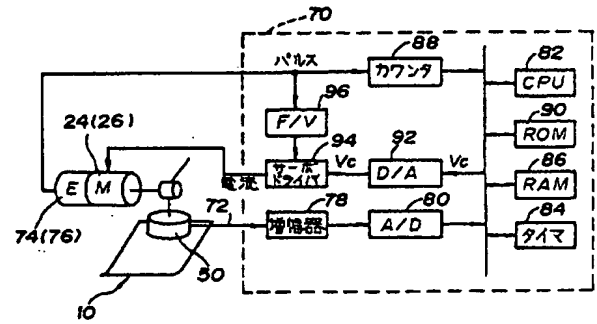
第3図



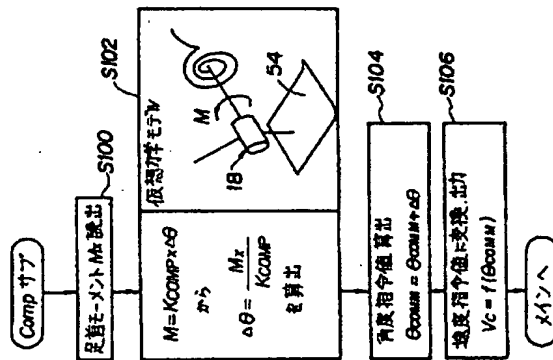
第4図



第5図



第7図



第6図

